

那須野ヶ原地域の用水路の流水を熱供給源とした冷暖房需給ポテンシャルの評価 Evaluation of the heating and cooling demand-supply potential using irrigation canal as a heat source / sink in the Nasunogahara region

○三木昂史*・後藤眞宏*・石井雅久*・中矢哲郎*

MIKI Takashi, GOTO Masahiro ISHI Masahisa and NAKAYA Tetsuo

1. 序論

農業用水路の流水熱をヒートポンプ（以下、HP）で採熱し、暖房や冷房として温室に熱供給すると、効率的かつ安定的に熱利用できることを筆者らは実証実験により明らかにしてきた¹⁾。水路の流水熱ポテンシャルについて、冷房および暖房時の熱供給可能量や、流水熱により熱需要量を満たすことができるかの可否について明らかになっていない。そこで本稿では、栃木県那須野ヶ原地域の幹線水路を対象に、HPシステムによる冷暖房需給ポテンシャルについて、水温や水量等の水利データをもとに評価した。

2. 評価対象とした水路

栃木県那須塩原市にある下段幹線用水路（総延長約 19 km）を対象とした（Fig.1）。下段幹線水路は、那珂川から取水し、途中で 8 つの支線用水路に分水して、2,600 ha の農地に灌漑しており、灌漑期（4 月 11 日～9 月 5 日）で $3.20 \text{ m}^3/\text{s}$ 、非灌漑期で $1.80 \text{ m}^3/\text{s}$ 通水している。本水路において、2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日まで、上流から約 1.5 km 毎に水温計（RTR-502 と TR-5530）を設置して 10 分間隔で計測した。また、気温は気象庁黒磯観測所の計測データを使用し、流量や水位は那須野ヶ原土地改良区連合より提供を受けた。本稿では、上流から順に G1～G4 の 4 区間に分けて評価した。

3. 熱供給可能量と熱需要量の評価

冷房時期を 5～10 月、暖房時期を 4 月、11～12 月および 1～3 月とし、各月の HP システムの冷暖房による熱供給可能量 q_{sup} を $q_{\text{sup}} = CQ\Delta T$ で算出した。ここに、C は容積比熱 ($\text{MJ}/(\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C})$)、Q は水量 (m^3/day)、 ΔT は熱利用温度差 ($^\circ\text{C}$) である。例えば、HP システムを冷房稼働させると、室外機において熱交換器を介して熱源に排熱することで、室内機から冷熱を出す（冷房）。一方で、暖房時、熱源から熱交換器を介して採熱し、室内機から放熱することで暖房する。したがって、HP による冷房時の熱利用は、熱源温度を上昇させる（暖房では熱源温度を下降させる）。河川水や下水などの水熱源において、熱利用温度差 ΔT は 5°C に設定されることが多いが、本稿では、農業や環境への影響を考慮して、冷房では熱源における各月の日平均水温と最高水温の平均の差を、暖房では各月の日平均水温と最低水温の平均の差を、熱利用温度差 ΔT に設定した。

熱需要評価では、水路から 50 m 圏内であれば、流水熱を HP で供給できると仮定し、QGIS により熱供給できる施設数を抽出した。抽出した施設の冷暖房の熱需要量 q_{dm} (GJ) は、集合住宅と業務施設の冷暖房時の熱負荷原単位 ($\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$) をもとに、月別と時刻別の変動比率を考慮して各月の 1 日当たりの熱負荷原単位を求め、施設の延床面積との積で算出した²⁾。戸建住宅の熱負荷原単位はデータがないため、文献から集合住宅の暖房負荷の 2.34 倍、冷房負荷の 1.72 倍とした³⁾。

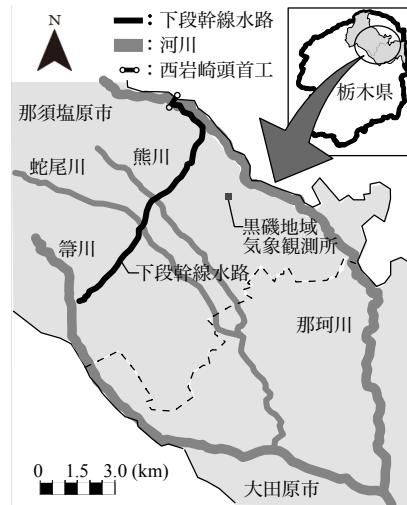


Fig. 1 評価対象とした水路

*農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO

キーワード：熱利用、農業用水、水熱源ヒートポンプ、再生可能エネルギー、調整池

4. 結果と考察

水路の最上流 (G1) と最下流地点 (G4) の日平均水温と日平均気温を Fig.1 に示す。冷房期間とした 5~10 月では、水路の水温の方が気温よりも 2.8~6.8°C 低くなり、暖房期間とした期間では、水路の水温の方が気温よりも 0.8~3.1°C 高くなることが確認された。また、上流と下流の水温を比較すると、5~10 月では、上流の方が 0.7~2.3°C 低くなることが確認された。流下の過程で日射や気温の影響を受けて水路の水温は上昇することや、下段幹線水路では那珂川とは異なる河川から取水された水路の流水および二つの調整池の水が合流することなどが、水温に差が生じた要因として考えられる。

一方、各月の日平均水温と最低水温の平均の差である熱利用温度差は、冷房を想定した 5~10 月では 0.6~2.2°C であり、暖房を想定した 4 月、11~12 月および 1~3 月では 0.4~1.7°C になることが計測された。各月の G1~G4 地点における熱供給可能量を Fig.2 に示す。熱供給可能量は上流ほど大きくなり、下流になるにつれて小さくなつた。熱利用温度差は、冷房時期と暖房時期で大きな差はなかったものの、熱供給可能量は、冷房時期の熱供給可能量の方が暖房時期の熱供給可能量に比べて大きくなる傾向を示した。熱供給可能量は、流量に大きく依存するため、通水量が多い灌漑期や支線水路に分水する前である上流ほど、供給できる熱量は大きくなつたと考えられる。

Fig. 3 に水路から熱供給可能な施設における熱需要量を示す。水路から 50 m 圏内の施設数は 109 件（戸建住宅 85 件、業務施設 24 件）であり、その熱需要量は、冷房需要が最大になる 8 月では、1 ヶ月で 4593 GJ、1 日当たり 106 GJ であり、暖房需要が最大になる 1 月では、1 ヶ月で 4468 GJ、1 日当たり 72.5 GJ と算出された。水路から 50 m 圏内の施設において、各月の 1 日当たりの熱需要量を流水熱で賄えることが示唆された。

5. おわりに

本稿では、幹線水路を対象に HP システムによる冷暖房需給ポテンシャルについて、水利データをもとに評価した。水路を熱供給網という新たな用途を加えると、農村地域の脱炭素化や省エネに大きく貢献すると考えられる。今後の課題として水路の流水温や熱利用状況は、季節ごとの時刻によって大きく変化することが想定されるため、より詳細な熱需給ポテンシャルの分析が必要である。

【謝辞】本研究は内閣府戦略的イノベーション創造プログラム第3期スマートエネルギー・マネジメントシステムの構築「RE100を実現する農村型VPPの開発」受けて実施した。また、本研究は那須野ヶ原土地改良区連合に多大な協力を頂いた。ここに付記し、感謝の意を示す。**【参考文献】** 1)三木ら(2023): 栃木県那須塩原市青木地区を事例とした農業用水路を熱源とした熱需給ポテンシャルの評価、農業環境工学関連学会 2023 年度合同大会 2)都市環境エネルギー協会 (2013) : 地域冷暖房技術手引書改定第 4 版, 65-71. 3)環境省 (2023) (参照 2025 年 2 月 25 日) : ~2023 年版~再エネ熱利用に関する技術概要, <<https://www.env.go.jp/content/000220231.pdf>>

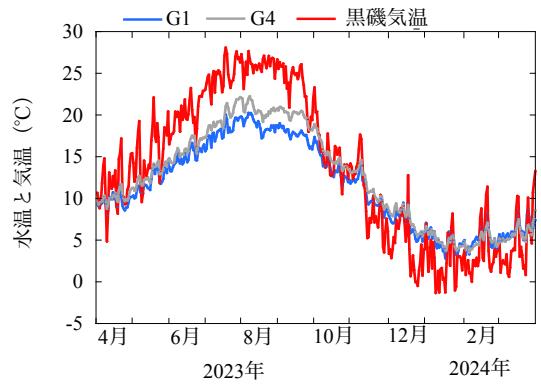


Fig. 1 水路の最上流と最下流地点の日平均水温と日平均気温

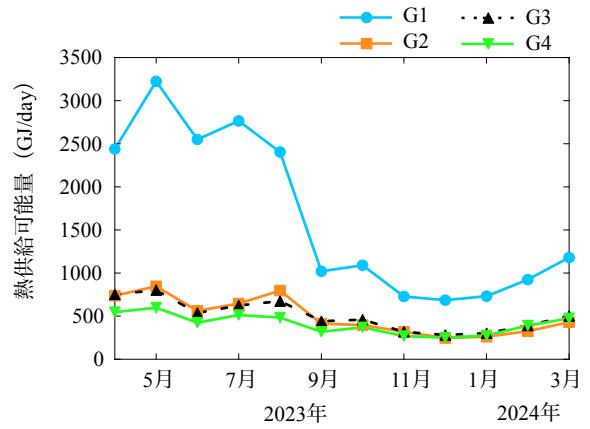


Fig. 2 各月の G1~G4 地点における熱供給可能量

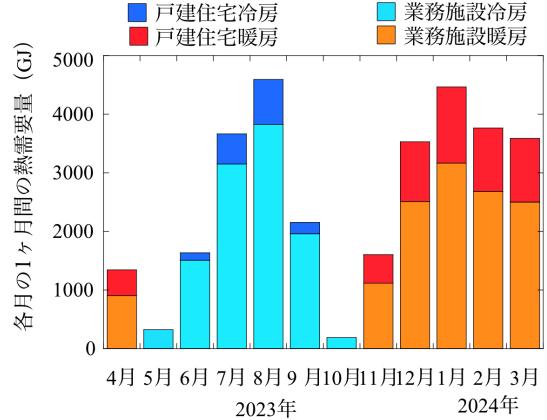


Fig. 3 水路から熱供給可能な施設における熱需要量
各月の1ヶ月間の熱需要量 (GJ)
2023年 4月 5月 6月 7月 8月 9月 10月 11月 12月 1月 2月 3月
2024年

【謝辞】本研究は内閣府戦略的イノベーション創造プログラム第3期スマートエネルギー・マネジメントシステムの構築「RE100を実現する農村型VPPの開発」受けて実施した。また、本研究は那須野ヶ原土地改良区連合に多大な協力を頂いた。ここに付記し、感謝の意を示す。**【参考文献】** 1)三木ら(2023): 栃木県那須塩原市青木地区を事例とした農業用水路を熱源とした熱需給ポテンシャルの評価、農業環境工学関連学会 2023 年度合同大会 2)都市環境エネルギー協会 (2013) : 地域冷暖房技術手引書改定第 4 版, 65-71. 3)環境省 (2023) (参照 2025 年 2 月 25 日) : ~2023 年版~再エネ熱利用に関する技術概要, <<https://www.env.go.jp/content/000220231.pdf>>